An Engineer's View of Science Education

A Discussion Paper
by Donald A. George

Science Council of Canada

Discussion Paper D/81/2

37

AN ENGINEER'S VIEW OF SCIENCE EDUCATION

A Discussion Paper

by Donald A. George, P.Eng.

June 1981

Discussion Papers are working documents made available by the Science Council of Canada, in limited number, to interested groups and individuals for the benefit of their comments.

The views expressed in this Discussion Paper are those of the author and are not necessarily endorsed by the Science Council of Canada.

Copies of

AN ENGINEER'S VIEW OF SCIENCE EDUCATION

are available
free of charge from:

The Publications Office
Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Ontario.
K1P 5M1

Des exemplaires de *L'enseignement des sciences vu par un ingenieur* seront bientôt disponibles gratuitement.

©Minister of Supply and Services, 1981

Catalogue No. SS21-4/5-1981E
ISBN 0-662-11598-8

TABLE OF CONTENTS

Foreword	5
I. TWO DECADES AFTER SPUTNIK	7
II. TECHNOLOGY, SCIENCE, AND SOCIETY	17
III. SOME OPTIONS IN SCIENCE EDUCATION	25
IV. SUMMARY	29
Notes	33

FOREWORD

This paper has been prepared for a study of Canadian science education being undertaken by the Science Council of Canada, under the direction of its Science and Education Committee. The study, which began in the spring of 1980, has three overall aims:

- to establish a documented basis for describing the present purposes and general characteristics of science teaching in Canadian schools;
- to conduct an historical analysis of science education in Canada;
- to stimulate active deliberation concerning future options for science education in Canada.

As this third aim suggests, the Science Council has no collective view on desirable directions for science education in Canada. It is seeking, however, to develop such a view and to this end is actively soliciting a diversity of opinions concerning possible directions. It is intended that these opinions, articulated in the form of discussion papers and disseminated as widely as possible, will prompt science educators and others to review current policies and practices. By sharing in these deliberations and at the same time conducting a a systematic inquiry into current and past policies and practices, the Science Council hopes to acquire a good understanding of the state and needs of science education in this country, and thereby make constructive recommendations for its improvement.

Two papers in this series have been published so far: *A Canadian Context for Science Education* by James Page, and *Science in Social Issues: Implications for Teaching* by Glen Aikenhead. Both authors have advanced arguments for the consideration of new goals for science education programs in Canadian schools.

In *An Engineer's View of Education*, Donald George makes this same argument from another perspective. Professor George has a background in engineering, both as a practising professional and as a university teacher. He views current trends in science education with concern, focussing on the preoccupation that science education has had on the discipline of science - the discovery and validation of knowledge - as distinct from engineering, which is the application of knowledge towards the solution of real problems. He believes it is the responsibility of professional science educators to develop and test reforms to science education. We hope this paper will stimulate discussion concerning the desirability and feasibility of such reforms.

It must be stressed that the views expressed in this discussion paper are those of the author, and not necessarily those of the Science Council or its Science and Education Committee. However, in publishing the paper, Council believes that a well-argued position has been set out, and that discussion among a wider audience can benefit both the study and Canadian science education in general.

James M. Gilmour,
Director of Research,
Science Council of Canada.

TWO DECADES AFTER SPUTNIK

Science education in our schools is a vital part of the preparation for the study and practice of engineering. It is also from the science taught in school that the attitudes of the general public to science, engineering and technology are formed and these attitudes, in turn, have a direct effect on public policies.

This paper focuses on these two aspects of science education in presenting an engineering viewpoint (or at least one engineer's viewpoint) of contemporary science education in Canadian schools. The writer is both a practising engineer and an educator.

Canada's wealth of physical resources has allowed us to live well in one of the world's most "developed" countries. But we do not develop our own land; rather, we rely on others to exploit our resources and we are paid a fee for our acquiescence. We benefit in this way from the world's technology and science, and devote our energies to other pursuits; we seem almost deliberately to atrophy our indigenous technological resources.[1] *Science education in Canada plays a special role in this policy of perpetual underdevelopment.*

Just as war is too important to be left to generals, science is too important to be left to scientists. But in the 1950s, inspired by the new challenges and directions created by Sputnik, decisions were made to reform science education, and the nature of those reforms was left to the science establishment. Others who were affected by these changes, such as engineers, were not consulted.

Two decades later science education is in disarray, although scientists, who have their own views on what constitutes science education, are not entirely to blame. Physicists, chemists, biologists and other scientists, by the virtue of their specialization, do not necessarily have a comprehensive view of science.

Although the reforms instituted during this time have benefited many students who have the inclination and ability to specialize in science, students in other disciplines have suffered from a decreasing exposure to a general, meaningful, science education. As a result, scientists grow more isolated from the public, and general ignorance of science and technology increases.

The first casualty of this situation has been science itself. While science education has become more specialized and the proportion of students studying science has dropped, the benefits of science and technology have become less and less self-evident and public support for science has declined. Prominent Canadian clergy claim that the "God of Science" is dead and look for a return of the "God of the Bible."[2] To the dismay of many scientists, the support for scientific research that still exists is based solely on potential economic returns.

The scientific establishment itself has not benefited, in the long run, from the undeniable improvements in the quality of science education, because they have been accompanied by decreased enrolments in high school science classes, which have in turn affected the number of students with the necessary prerequisites for post-secondary science education. In the United States, recognition of this same trend has led recently to a special report for the President on the problem.[3]

Another factor is that young people increasingly elect educational programs with clear-cut career prospects. Enrolments in engineering and technology are soaring, in sharp contrast to those in

the pure sciences.[4] When the flow of students from high school to universities and colleges peaks and then falls, as it soon will, students studying pure science may become rare indeed and projections about the future number of students for technology, engineering and science courses is disturbing, even frightening. Even engineering and technology programs will not maintain their enrolments. North America, and Canada in particular, face increased technological competition, thus the availability of qualified people is of paramount concern.

The ever-narrowing base of science education is reflected in an after-dinner speech delivered by Lester B. Pearson, a former prime minister of Canada. He talked about his problems with a mandatory mathematics course taken while studying arts at the University of Toronto. It was not so much that he found the course difficult, but that he thought it pointless. The majority of people are not inclined towards quantitative analysis. Their mode of thought, like Mr. Pearson's, is qualitative. However, the teaching of science by those with scientific backgounds is inevitably quantitative, and unless special efforts are made people who think qualitatively are effectively deprived of a science education.

A paradox of science education emerges. On the one hand, science taught by teachers who themselves were not attracted to it, and perhaps came to dislike it, cannot be stimulating. On the other, science taught conventionally by well-trained science teachers must be far less than satisfying for those not scientifically inclined. Courses that minimize the quantitative approach exist, but are described perjoratively in science circles by the adjective "soft." The courses and those who teach them are held in much lower scientific esteem than their "hard" counterparts. It is not surprising that the people with a "hard" science orientation, given the money and the mandate to improve science education, made the reforms they did.

As rivalry in space accomplishments intensified after Sputnik, science in the school system became increasingly "scientific" - more basic and less technological. Changes to the mathematics program attracted the most attention, because parents found they could no longer help their children with homework. But all science curricula changed in similar ways. The new courses concentrated on pure rather than applied science, and were also more abstract.

As the reforms in science education were being instituted, other changes were taking place in the educational system. The curriculum was no longer compulsory, and students were permitted to choose most of their courses. In Ontario the credit (or blame) for this is assigned to the Hall-Dennis Report[5], but the trend was country-wide. Given the opportunity, most students chose not to study science.

An important reason was the narrowed base of science education, resulting, ironically, from the decision to emphasize science teaching. An apparent solution is simply to reimpose compulsory science courses; enrolments would recover instantly. Perhaps some people would then assume that the problem was solved, but this would be an illusion. As Mr. Pearson pointed out, probably all he gained from his compulsory mathematics course was a life-long hatred of calculus. With current student and parental attitudes towards science education, some science courses may have to be mandatory, but science teaching itself must also change.

Engineering students have another view of contemporary science education. An engineer's first formal exposure to science takes place in the primary school. Scientific knowledge is accumulated through high school and the first years of an engineering program at university, where potential engineers are compelled to follow courses designed for those interested in careers in pure science. Because of this, many potential engineers are lost along the way. Those students who wish to become engineers will achieve their goal only if they have

a marked affinity for science or great determination to succeed in science courses they may not enjoy. But many others will not make it, despite the fact that the field of engineering is very broad and people with a wide range of talents are needed to fill the variety of positions available. They will give up or go off in other directions.

Some people defend this situation on the grounds that those who drop out of engineering lacked the necessary stamina, but such a response ignores the many pressures of the educational system on today's young people. The attitude that only those students who show an aptitude for the pure sciences should become engineers is also misguided, and would be acceptable only if the courses in pure sciences offered in our schools were necessary for engineering study. In fact, a curriculum oriented towards applied science would be far more relevant and attractive not only to would-be engineers but to other students as well.

The requirements for science and mathematics in the backgound of an engineer varies. There are research engineers who are pure scientists, whereas some practitioners must rely entirely on experience and judgement. The mix of arts and science in the practice of engineering is but one of the variables that change markedly from one engineering job to another and from one engineer to another. It is questionable if a single path in science education is sound, especially if it is biased towards the education of pure scientists.

Obviously, the eventual career of a potential engineer cannot be determined beforehand, so a basic and substantial minimum proficiency in science and mathematics must be attained. But is it provided by the school science programs developed over the last two decades? Do the reforms, made without regard for their impact on engineering education, satisfy the needs? Apparently not, because there is a scarcity of young people prepared to undertake careers in engineering, technology and science. Maintaining our present level of economic and

social advantages, much less raising it, demands a great many qualified people. Unfortunately, this point is not well appreciated by the general public or our political leaders. As Walter Light has noted:[6]

> "It is very apparent that Canadians - inside and outside of government - do not, or do not want to, understand that tomorrow's jobs, their continued high standard of living, the health of the economy and the real future security of the country rests upon the success or failure of our technologies, and on our skill to create and develop them faster and better than other countries."

An opposing argument - that there is an over-supply of one kind of specialist or another, or of "overeducated" people generally - exists, but one must wonder why. The unemployment rate of university graduates in general, and engineering graduates in particular is well below that of the rest of their age group.

Claims that engineers are often under-employed, accompanied by implications that too many are being graduated, also surface from time to time. At the same time our society seems content to graduate large numbers of students from academic disciplines that contribute little to our economic or physical wellbeing. If potentially productive people appear to be under-utilized in some organizations, then the management of those organizations must be suspect, or the individual's capabilities are being overrated. It makes no sense to underutilize and undereducate potentially productive Canadians, but that is in effect sometimes advocated, even in engineering circles. A small minority of engineers probably still exists that equates a decreased supply of engineering graduates with increased salaries for themselves, but if Canada's potential is to be realized our continuing need for all the highly trained and skilled people we can produce must be met.

The decline in enrolments can be attributed to the policy of allowing students to choose their courses, but I have argued that

imposing courses is not necessarily a cure, for the greatest effect of compulsory science may be an alienation from science. The science curriculum itself must be examined, and the most effective way to determine course content, short of returning to school and doing it all again, is to examine textbooks. This turned out to be a rather startling exercise, for there has been a dramatic change over the last several decades. For example, a contemporary physics text explains basic mechnical laws well and imparts the information with fine illustrations and an elegant use of colour and typography. By comparison the textbooks of yesteryear look pallid and unimaginative.

Today's textbooks look better, but their orientation is their abstract, mathematical orientation. No effort is made to explain why the diagrams and equations of basic mechanics are included. The author knows why the topic is included - all scientists know that mechanics is an important branch of science - but does the student know? And if he or she does not, then why should the student be interested in this apparently arcane subject?

The older texts, by contrast, considered that the orientation and motivation of the student were of primary importance. Only after the industrial, social, and economic basis of the topic was established did texts go on to the theoretical scientific principles, and then return to the application of those principles. At that point the application would be specific and the student could then understand the use of science in the practical world. But in 1980 the applications, if mentioned at all, relate to yet more science, such as experimental measurements or new phenomena. There is seldom a real example of the application of the principles of the physical sciences outside the physical sciences themselves.

It is not only the textbooks that reveal the present nature of science education in our schools. An Ontario curriculum guideline for intermediate division science lists 26 reasons why a student might

choose to study science.[7] Not one relates to technology, engineering, the use of science, or of the economic or social benefits of science, except in an occasional backhanded and negative sense. To quote:

> "Science lets you look in your rear-view mirror and makes you wonder how your forebears ever got along without television sets, cars, radios, telephones, antibiotics, hand calculators, electric blankets and automatic dishwashers. Or were they so unfortunate?"

and

> "Science may influence your attitude towards a personal respect for animals and plants, care of scientific apparatus, conservation of energy resources, and a concern for such problems as hygiene, overpopulation, disease, drugs, and weapons of warfare."

More typical of the list, however, is:

> "Science can help you grow intellectually, because it lures you to guess and question, to wonder and grope, and to try to fathom the depths of simple mysteries."

To emphasize further the imbalance between pure science and technology, one need only turn a few more pages of the same guideline.[8] Four curriculum emphases are discussed: scientific literacy; science, technology and decisions; scientific process; and the structure of science. Technology and the application of science occupies but one-half of one of the four possible emphases. One reads also that:

> "The student understands that science differs from technology as knowledge-seeking differs from practical problem-solving."[9]

Thus it is clear that in Ontario at least the science of the schools is pure science.

This bias is fine for the scientist whose interest is in science for its own sake and it may succeed with the student who is naturally interested in and capable of easily understanding the principles of science, but it does little for the vast majority of students. Instead of the vital, important force that it is, science is presented as abstract, remote and, even worse, boring and difficult.

If the only objective of science teaching is to produce scientists then this approach may be valid. The cost, however, is the creation of anti-science attitudes in the typical student and the loss of many potential science students. As almost all engineering students have a strong orientation towards the practical, this theoretical approach can hardly be appealing. Many students will therefore make very early decisions to opt out of science that will later preclude the study of engineering and technology.

Careers in engineering and technology can be particularly satisfying, secure and financially rewarding, and often lead to careers of still broader scope. In this context, there is some irony in the continuing low participation of young women in science courses which, in turn, excludes them from so many of these more satisfying occupations. Women are said to be more pragmatic and practical than men, so the study of science as it is taught today is particularly unappealing to them. Yet these same attributes are significantly appropriate for the practice of engineering.

Not only the prospective engineer or technologist is poorly served by current science education. Scientific knowledge in the general populace has also declined. There should be common concern between those involved with general education and those with engineering education. And there should be concern among those who would like Canada to formulate an industrial and technological policy that goes beyond the exploitation of the country's natural resources. But technologically and scientifically illiterate people cannot debate these

issues. The Symons Report[10] of the Commission on Canadian Studies concluded that the majority of the public, even of university students, are scientifically illiterate, and the problem is worsening.[11]

II TECHNOLOGY, SCIENCE AND SOCIETY

There is little widespread concern about contemporary science education. Because the resources of our engineering schools have not kept pace with enrolment, university engineering professors have more students than they can handle and they may lack a true perspective about the low overall number of graduates that Canada is producing each year. Also, because these professors may be biased towards the scientifically and mathematically talented students who, like themselves, will probably become researchers, they are not troubled by a curriculum that favours a theoretical, rather than a practical approach to science, and which discourages many talented students from becoming engineers. Scientists themselves are concerned about the low enrolment in science disciplines, but may be conditioned not to see the reasons. The non-science fraternity knows little about the situation and is not particularly concerned. "Because little is known, less will be known" becomes a self-fulfilling prophesy.

The sporadic public debate about science education that does occur between scientists and the public has little meaning because the debaters know so little or so much of science that they do not share a common language. Science, along with technology and engineering, is a word central to any debate on education that deals, one way or the other, with technology - the primary force in the western world in this

century. The impact of technology is all-pervasive in our society, but understood by all too few. As Carl Sagan says:

> "We have a society which is built on science and technology and which uses science in every one of the interstices of national life, and in which the public, the executive and the judiciary have little understanding of what science is about. That is a clear disaster signal. It has to be suicidal."[1]

The meaning of the words *technology, engineering,* and *science* are clouded. More often than not they are used inappropriately or even incorrectly. In the strict context of this paper, for example, the term science education refers to the teaching of physics, chemistry and biology in the primary and secondary schools. Those are classed as the science subjects; yet this is part of the problem. Teaching and learning the basics of these particular physical and natural sciences is only one aspect of what science education should be. The word "science" has some specific narrow definitions, but also some much broader meanings. The latter must prevail in any discussion of science education and must also be the focus of science education.

Another example of confusion is found in a recent flurry of newspaper articles pointing out that the Ottawa-Carleton region is developing a strong industrial orientation in so-called "high technology" and that this has resulted in a shortage of qualified people to fill positions. The media transformed the situation into a shortage of "technologists" and demands were made for increased provincial support for their education in the colleges and technological institutes. However, the shortage of technologists is only part of the picture; the high technology industry also requires engineers, scientists, and other specialized workers. Equally serious educational problems exist for them too. Unfortunately, media misinterpretation of the word technology in "high technology" distorted the direction of public attention so that only a part of the problem received attention.

Thus we have a graphic example of how a problem involving a number of very different factors has been publicized in terms of only

one, because of ignorance of the meaning of the words technology, science and engineering. People who work with technology have a wide range of educational backgrounds, including the PhD engineer, the technologist, the skilled tradesman and the production worker. All require a basic science education; a weakness in science education, therefore, has far-reaching effects.

A further example of our problem with the language of science and technology is found in the need felt by Canada's engineering deans to lobby for the inclusion of "engineering" with "science" in the title of the federal government's new research granting agency, the Natural Science and Engineering Research Council of Canada. In their (successful) effort the deans were fighting on two fronts: for the widening of the general interpretation of the role of a "science research council" and for the council's support of science and technology as opposed to just science.

It seems appropriate at this point to examine some definitions of science, technology and engineering. A standard definition of science is Webster's:

> "2. Any branch or department of systematized knowledge considered as a distinct field of investigation or object of study; as, biology is a science; the science of astronomy or of mind."
>
> "3. A branch of learning; a science; esp. a science such as grammar, logic, or mathematics..."[2]

This is further tightened to:

> "A branch of study which is concerned with observation and classification of facts, esp. with the establishment (and, strictly, the quantitative formulation) of verifiable general laws, chiefly by induction and hypothesis; as, the biological, historical, and mathematical sciences."[3]

The Oxford dictionary makes the same point more emphatically:

> "5b. In modern usage, often treated as synonymous with 'Natural and Physical Science', and thus restricted to those

> branches of study that relate to the phenomena of the material universe and their laws, sometimes with implied exclusion of pure mathematics."[4]

Thus we have this word, science, which can be restricted to a narrow definition referring only to the physical and biological sciences. In Canada unfortunately, this narrow sense appears to prevail and trends in science education in the primary and secondary schools have reinforced a limited appreciation of the scope and nature of science.

A broader definition of science is found in the New Columbia Encyclopedia:

> "For many the term science refers to the organized body of knowledge concerning the physical world, both animate and inanimate, but a proper definition would have to include the attitudes and methods through which this body of knowledge is formed; thus, science is both a particular kind of activity and also the result of that activity.... Science may be roughly divided into the natural sciences and the social sciences.... The natural sciences are divided into the physical sciences, the earth sciences and the life sciences. Mathematics is also considered one of the physical sciences.... All of these areas of study might be called pure sciences, in contrast with the applied or engineering sciences, i.e. technology, which is concerned with the practical application of scientific activity."[5]

Which meaning is to be taken: the narrow physical-sciences sense or this broad description? John Diefenbaker hailed as a great scientific achievement the launching of Canada's first satellite, but it was very much an engineering accomplishment. What did he mean by "scientific" achievement and how was his statement interpreted?

The other two pivotal words: "engineering" and "technology," pose fewer problems. Webster's defines technology as:

> "1. industrial science, the science or systematic knowledge of the industrial arts, esp. of the more important manufactures as spinning, weaving, metallurgy, etc."
> "3. Any practical art utilizing scientific knowledge, as horticulture or medicine; applied science contrasted with pure science."

and engineering as

> "... the art and science by which the properties of matter and the sources of power in nature are made useful to man in structures, machines and manufactured products; the occupation and work of a professional engineer..."[6]

It is evident from this definition that the professional competence of the engineer is very much based on an understanding of a broad range of the sciences - pure and applied - together with his or her command of the engineering arts.[7]

Engineering however, is not what it is generally assumed to be: the application of the physical sciences to practical ends. One way to appreciate this is to distinguish between the science that observes, measures, and describes naturally occurring phenomena and the science that concerns man-made phenomena. Communication and information theory, for example, have been developed in this century to describe the laws that govern the transmission and reception of signals. Similarly, the electrical and mechanical sciences have developed new knowledge of the nature of circuits, systems, and machines, which have their main significance in the work of engineers. These "sciences of the artificial," or engineering sciences, are a relatively new factor in science. Even their existence is unknown to the vast majority of people whose science education was limited to physics, mathematics, chemistry, and biology.

Yet young students are taught physics, chemistry, and biology as abstract, self-significant sciences which understandably come to represent the whole of science in their minds. This impression is reinforced later in their schooling when these branches of science become compartmentalized into clearly distinct courses taught by specialists. By this time the majority of students elect not to study science further, so these early concepts remain throughout their lives. Engineering and the work of engineers remains obscure. At best, engineers are thought to apply science (physics, chemistry, biology) and mathematics to some practical ends. Technology is perhaps seen as

the result of this application of science, and perhaps thought to be dangerous too. How levers and pulleys, force and energy relate to technology and to everyday life remains a mystery to be absorbed, presumably, through the experiences of life.

Thus, the typical student ends his secondary education with a distorted view of science and virtually no concept of engineering and technology. And yet this is the students' preparation for the 21st century. It is not even appropriate for the 20th century!

The next stages of the educational system are no better. The college or institute of technology has no choice but to assume that the student's basic education is complete, and proceed with his or her training for a particular occupation. The university makes the same assumption, and launches into specialized education. Students stay close to their chosen discipline, venturing timorously into contiguous zones but seldom into a distant area in another faculty. Arts students do not study science and science students do not study arts. The smorgasbord curriculum allows students to reinforce their conditioned biases against science courses (or against arts courses if they are in science). Departmental regulations aid and abet this bias.

By this time selective ignorance is institutionalized and a life-long pattern has been established, but curiously this curriculum and process are thought to be a basic, fundamental, core, general education and to have first priority. Even in current plans to rationalize university programs in Ontario, the undergraduate sciences, humanities, and social sciences are exempted.[8] Presumably the public purse will provide whatever is needed for these programs (and they are the larger part of the budget). At the same time the professional programs, graduating students who will contribute to our economic well-being, will be subjected to the limitations and constraints of the typical Ontario university system planning process in the name of conserving resources and limiting demands on the taxpayer. Both the educational and economic sense of this escapes me.

Canada's engineering faculties require their students to study general science, mathematics, economics, administrative science, humanities and social sciences. The intent is practical, for the engineer must appreciate the social, economic and ecological environment in order to practise his or her profession. This is in sharp contrast to the educational requirements of students taking a general arts education. The universities, as the custodians of higher education, are content to let their arts graduates go forth into the world enjoying both the benefits and drawbacks of technology, in ignorance of the basic principles of engineering, science, and technology.

Without technology we would revert to the agricultural society of the last century which some purport to prefer but few have embraced, and most do not want. If many of the profound problems facing us, such as the crisis over energy which now strains our national unity, or our declining economic and industrial fortunes, or pollution, have arisen from technological development, their solutions nevertheless lie in further advances in technology. But the debate on nuclear energy, policy and strategy, to take one example, becomes hysterical, fed by unfounded notions about nuclear science and engineering. It is hard to find a path between those who would forbid all nuclear development and those who would charge ahead, regardless of the consequences.

To discover the solutions to today's problems, we must make critical decisions, we must invest today for tomorrow's well-being, and we must have concerned, informed citizens. That we do not is the great disgrace of an educational system that is content to leave its graduates woefully innocent of science and technology. We have allowed many technological problems to accumulate, illustrating our general ignorance of the interactions of technology with our adopted life style, and the pressing need to eradicate scientific illiteracy.

A final point must be made about the importance of educating young Canadians to be aware of technology even if they do not pursue technological careers. The assertion made to the Symons Commission,

"... that to speak of Canadian science or of Canadian engineering is inappropriate; that science and technology transcend all national boundaries, and consequently cannot be national in character,"[9] does not conform with reality. In fact, the Commission identified the "national or cultural dimension" in terms of the impact of science and technology on society and our lack of a perceived scientific heritage.[10] They also listed an impressive and depressing catalogue of topics virtually unique to Canada that had suffered almost total neglect by science.[11]

Yet the Commission, by acknowledging that "science is international" implicitly accepted a limited definition of science which neglected the nature of technology. The basic laws of science are universal, but the applications of science and technology are intensely nationalistic. To our great detriment, this escapes notice in science education and in our institutions of higher education. From beginning to end, the bias is towards a universal science in which Canada's role is minor and unimportant. In fact, the development of science and technology in the Canadian context is critical to national survival. Appreciation of this is difficult for people schooled in the single, simple theme of pure science.

III SOME OPTIONS IN SCIENCE EDUCATION

The term "scientific illiteracy" as I have used it implies science in its all-encompassing sense and so includes technology. Perhaps "technological illiteracy" would be a better term, since the impact of science on our lives is felt through technology rather than directly through pure science. Because science, correctly defined, includes technology rather than the converse, and because the methods and philosophy of science are critical tools to apply to understanding the social and ecological consequences of technology, I have chosen to stress science. But this does not mean science as it is viewed by our schools. Science is not just physics, chemistry, biology, and perhaps mathematics.

The eminent American engineering educator John G. Truxal has posed two questions to illustrate two objectives of a reformed approach to science education in the schools:

> "Question 1: To minimize gas consumption, how long should you let your car warm up before driving on a cold winter morning?
> Question 2: To save gas, the federal government has two choices:
> (1) Improve subways and buses to increase ridership.
> (2) Use money to encourage commuters to buy cars that get better mileage.
> We are now using (1) and trying to double the ridership by a

> large commitment of federal money to mass transit. To save the same amount of gas, how much would we need to increase the gas mileage of cars used in commuting?"[1]

The first question has the reasonable and practical answer of 30 seconds; the second has the amazing answer of 0.2 miles per gallon. His two objectives, which are well demonstrated in the example, are to give students an understanding of how to respond to our technological environment and of how to participate in political decisions. A science education that directed students towards such questions would be a reorientation of the present approach to emphasize the relevance of science and technology. It would remove science from the abstract and introduce significant elements of engineering and technology into the schools.

A suitable approach would begin by illustrating the significance of science in social, practical terms. For example, mechanics could take on a new significance for young people, as it explains how a car works and what happens in collisions. When, through application, the requisite theory had been developed, attention could turn to the broader implications of science and technology.

A particular example of this is found in the Grey-Bruce Separate School Board (Ontario) where "measurement, an expectation for mathematics...is taught <u>through</u> energy with great success."[2] [Emphasis is the author's.]

Another alternative would be to give courses in technology, presumably in addition to regular science subjects. Technology does not, as conventional wisdom has it, necessarily follow science but often leads it. Although application invariably follows advances in pure science, science is frequently challenged to explain technological innovations. While the processes of experimentation are a critical part of technological advancement (as they are of scientific advancement) they do not necessarily require a scientific understanding of the physical processes involved.

The danger with basing general education on this approach is that it might produce superficially knowledgeable but basically ignorant citizens. Moreover, there would be no means of recognizing that our accumulated scientific and engineering knowledge is often insufficient to answer all the problems posed by its application.

From the particular standpoint of engineering education, technological preparation in the schools would not, by itself, be sufficient. An engineer is distinct from the technologist in several ways. One of the most important is the strong scientific basis of his or her knowledge of the engineering arts and sciences.

The principal reason for rejecting the present approach and reforms of the kind just discussed is their lack of balance. Orpwood and Roberts[3] have modelled six possible objectives for science education. Students should be able to:

1. apply science;
2. appreciate its social impacts;
3. appreciate its application to technology;
4. understand Canadian issues in science;
5. understand Canadian contributions to science; and
6. comprehend the role of science in personal and political choices and decisions.

In this they were addressing the context of science education, not its content. The implication is that a better balance between content and context is needed.

To achieve balance is critical; balance not only in the proportion of time devoted to the various topics, but also in the approach to the teaching of science. Rather than courses devoted to physics, chemistry, biology and mathematics as pure sciences, we need curricula that stress - in both content and context - the broader themes of science and technology. Through emphasis on the application

and practical value of science, its appeal can be increased for the benefit of all students, not only potential engineers, technologists, and scientists. Such an emphasis would introduce the students to engineering and technology as well as to the pure sciences and to newer areas such as computing sciences.

The computing sciences are an excellent example of combining mathematics with a practical skill and an understanding of the impact and importance of a modern technology. A goal for all high school graduates should be rudimentary programming ability and an understanding of what computers really do. Many prevalent myths would be destroyed in the process.

It cannot be assumed that these suggestions for changes in the high school curriculum will be easy. A major reorientation of the kind I am suggesting will take time, energy, and talent on the part of both students and teachers. But it is vital that the task be undertaken, otherwise Canadians will become orphans in the high-technology world of the 21st century.

It is critical also that the courses and texts recognize and highlight the Canadian nature of relevant technology, our successes and our failures. It cannot be over-emphasized that while the laws of nature are universal, the application of science and technology is national and regional.

IV SUMMARY

My approach to the state of science education in Canada's schools has been from the standpoint of an engineer and an engineering educator. I have been concerned with the effect of primary and secondary education on students who will become engineers, technologists and technicians, rather than on those pursuing post-secondary studies in the physical, biological or mathematical sciences. Students wishing to pursue technological careers are principally concerned with applied science, but the latest reforms of science education in the early 1960s emphasized the pure sciences. Such an approach is inappropriate not only for these students but also for that majority of students who will not be focusing on science or technology. Thus my concern includes the scientific knowledge of the general public.

If Canada is to maintain its economic and social vitality in the 21st century we cannot afford scientifically or technologically illiterate citizens. Yet the present nature of science education is forcing us to accept such handicaps. Even informed public debate is not possible because of the general indifference and ignorance about the nature of technology and its social effects. The very words technology, engineering, and science have different meanings for different people in different contexts.

Comparison of school texts attests to the enhancement of pure science and the depreciation of technology over the past several decades. In the late 1950s and early 1960s a wave of "new" science and mathematics swept our schools. This intensified the emphasis on basic scientific principles, and was undoubtedly good for students who were innately interested and talented in science. Unfortunately, the difficulties for the majority of students who did not have these aptitudes were intensified. At about the same time, the prescribed curriculum, which allowed few options in course selection, was abandoned, so that by the early 1970s science enrolments in secondary schools were falling rapidly.

Paradoxically, both the general public and the science establishment have lost. Because they overwhelmingly elected not to enrol in science courses, young adults must by now be less knowledgeable about science and technology. Perhaps only the widespread fascination with science fiction sustains public support of science. At the other extreme, falling numbers of scientifically trained secondary school students and increased numbers of students entering engineering and technology programs have combined to bring about a major decline in university science enrolments.

This narrow approach to science, which emphasizes only basic scientific principles, is drying up both the supply of young scientists and public appreciation of and support for science and technology. At the same time, many students with more modest but still appreciable scientific talents are not being encouraged to find careers in the broad spectrum of science and technology. For example, simply providing more resources for university and college programs to obtain "high technology" manpower programs is not the answer. The problem is deeper: it begins in our elementary and secondary schools.

I conclude by arguing for curricular reform that will develop science programs with a strong orientation towards application, tech-

nology, and social implications. It is imperative to demonstrate that science and technology are critical to Canada and that appropriate science and technology are strongly and characteristically Canadian in nature.

This will not be an easy task, and I do not put forward remedies, but simply argue for a general direction. It is clear that we have a national problem of long duration and critical importance. Its resolution demands that educators and practitioners in technology, engineering and science overcome their entrenched differences. A meeting of minds and the formulation of common goals and objectives are urgently needed.

Failure will perpetuate our existing ignorance of the contemporary world, an ignorance that sustains us while we live, like medieval lords, on our patrimony. At least for the moment.

Notes

I. Two Decades After Sputnik

1. This point was strongly made by Walter Light, the president and chief executive officer of Northern Telecom in "Technology - Low Man on the National Totem Pole" at the Financial Post Conference on R & D, High Technology: Now or Never, Ottawa, 9 October 1980.

2. Ottawa Citizen, page 49, 11 October 1980.

3. A report prepared by the National Science Foundation and the Department of Education, United States.

4. As an example, at Carleton University, the ratio of undergraduate science to engineering students was 2.43, 1.69 and 0.69 in 1960, 1970, and 1980, respectively.

5. Living and Learning, Report of the Provincial Committee on Aims and Objectives of Education in the Schools of Ontario, Ontario Department of Education, Toronto, 1968.

6. Light, op. cit., p. 2.

7. Ontario Ministry of Education, Curriculum Guideline for the Intermediate Division, Science, Toronto 1978, pp. 46-48.

8. Ibid., pp. 56-62.

9. Ibid., p. 61.

10. The Symons' Report, McClelland and Stewart, Toronto, 1978, or To Know Ourselves, the report of the Commission on Canadian Studies, Volumes I and II, Association of Universities and Colleges of Canada, Ottawa, 1975.

11. James E. Page, A Canadian Context for Science Education, Science Council of Canada, Ottawa, October 1979, p.19.

II Technology, Science and Society

1. Frederick Golden, "Carl Sagan, The Cosmic Explainer," Time, 20 October 1980, p.61.

2. Webster's New International Dictionary, Second Edition.

3. Ibid.

4. A New English Dictionary on Historical Principles, The Clarendon Press, Oxford, 1914.

5. The New Columbia Encyclopedia, Columbia University Press, New York, 1975.

6. Webster's New International Dictionary, Second Edition.

7. Here art, of course, is "skill, dexterity or the power of performing certain actions, acquired by experience, study and observations;..." (Webster's) which is not to be seen as implying that engineers should not also be proficient in the arts (or sciences) of grammar, logic and mathematics.

8. Ontario Council on University Affairs, System Rationalization, Toronto, September 1980, pp. 20-22.

9. James E. Page, A Canadian Context for Science Education, Science Council of Canada, Ottawa, October 1979, p. 13.

10. Ibid., p. 13.

11. Ibid., p. 16.

III Some Options in Science Education

1. John G. Truxal, "Pre-College Classroom Materials" in Engineering Education, January 1980, p. 343.

2. Education Ontario, Ministry of Education and Ministry of Colleges and Universities, Spring 1980, p. 3.

3. Graham W.F. Orpwood and Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education," in Orbit, volume 11, No. 1, February 1980, pp. 21-25.

Notes

I. Two Decades After Sputnik

1. This point was strongly made by Walter Light, the president and chief executive officer of Northern Telecom in "Technology - Low Man on the National Totem Pole" at the Financial Post Conference on R & D, High Technology: Now or Never, Ottawa, 9 October 1980.

2. Ottawa Citizen, page 49, 11 October 1980.

3. A report prepared by the National Science Foundation and the Department of Education, United States.

4. As an example, at Carleton University, the ratio of undergraduate science to engineering students was 2.43, 1.69 and 0.69 in 1960, 1970, and 1980, respectively.

5. Living and Learning, Report of the Provincial Committee on Aims and Objectives of Education in the Schools of Ontario, Ontario Department of Education, Toronto, 1968.

6. Light, op. cit., p. 2.

7. Ontario Ministry of Education, Curriculum Guideline for the Intermediate Division, Science, Toronto 1978, pp. 46-48.

8. Ibid., pp. 56-62.

9. Ibid., p. 61.

10. The Symons' Report, McClelland and Stewart, Toronto, 1978, or To Know Ourselves, the report of the Commission on Canadian Studies, Volumes I and II, Association of Universities and Colleges of Canada, Ottawa, 1975.

11. James E. Page, A Canadian Context for Science Education, Science Council of Canada, Ottawa, October 1979, p.19.

II Technology, Science and Society

1. Frederick Golden, "Carl Sagan, The Cosmic Explainer," Time, 20 October 1980, p.61.

2. Webster's New International Dictionary, Second Edition.

3. Ibid.

4. A New English Dictionary on Historical Principles, The Clarendon Press, Oxford, 1914.

5. The New Columbia Encyclopedia, Columbia University Press, New York, 1975.

6. Webster's New International Dictionary, Second Edition.

7. Here art, of course, is "skill, dexterity or the power of performing certain actions, acquired by experience, study and observations;..." (Webster's) which is not to be seen as implying that engineers should not also be proficient in the arts (or sciences) of grammar, logic and mathematics.

8. Ontario Council on University Affairs, System Rationalization, Toronto, September 1980, pp. 20-22.

9. James E. Page, A Canadian Context for Science Education, Science Council of Canada, Ottawa, October 1979, p. 13.

10. Ibid., p. 13.

11. Ibid., p. 16.

III Some Options in Science Education

1. John G. Truxal, "Pre-College Classroom Materials" in Engineering Education, January 1980, p. 343.

2. Education Ontario, Ministry of Education and Ministry of Colleges and Universities, Spring 1980, p. 3.

3. Graham W.F. Orpwood and Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education," in Orbit, volume 11, No. 1, February 1980, pp. 21-25.

L'enseignement des sciences vu par un ingénieur

Exposé à débattre
rédigé par
Donald A. George

Conseil des sciences du Canada

Exposé à débattre DB1/2F

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES
VU PAR UN INGÉNIEUR

Exposé à débattre
rédigé par
Donald A. George,
ingénieur agréé

Juin 1981

Les exposés à débattre sont des documents de travail que le Conseil des sciences du Canada met à la disposition des personnes ou groupes intéressés, en quantité limitée, pour connaître leurs réactions.

Les vues exprimées dans le présent Exposé sont celles de l'auteur; elles ne reflètent pas nécessairement l'opinion du Conseil des sciences du Canada.

Vous pouvez vous procurer gratuitement des exemplaires de:

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES VU PAR UN INGÉNIEUR

auprès du:

Service des publications
Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe,
Ottawa, Ont. K1P 5M1

Copies of *An Engineer's View of Science Education* are also available free of charge

© Ministre d'Approvisionnements et Services Canada, 1981

N° de catalogue SS21-4/5-1981F
ISBN 0-662-11598-8.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos		5
I -	VINGT ANS APRÈS LE LANCEMENT DU SPOUTNIK	7
II -	TECHNOLOGIE, SCIENCES ET SOCIÉTÉ	17
III -	QUELQUES OPTIONS EN MATIÈRE D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES	27
IV -	RÉCAPITULATION	31
Bibliographie		35

AVANT-PROPOS

L'auteur a rédigé l'exposé qui suit pour les besoins de l'étude sur l'enseignement des sciences au Canada, que le Conseil des sciences a entreprise au printemps de 1980. Cette étude, qui se déroule sous la supervision du Comité du même nom, vise trois objectifs généraux:

- le rassemblement d'une base de données permettant de décrire les objectifs actuels de l'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes et ses caractéristiques générales;
- la réalisation d'une analyse rétrospective de cet enseignement;
- l'encouragement du débat sur ses orientations possibles.

Comme l'indique l'énoncé du troisième objectif, le Conseil des sciences n'a pas, collectivement, d'idée précise sur l'orientation à donner à l'enseignement des sciences. Cependant, il s'efforce de s'en faire une en sollicitant la communication des opinions diverses des intéressés sur ce sujet. Il espère que ces idées, précisées par des exposés à débattre qui seront diffusés aussi largement que possible, aideront les responsables de l'enseignement des sciences et les autres intéressés à analyser les lignes de conduite et les méthodes suivies actuellement en cette matière. En participant à ce débat, et en menant parallèlement une enquête systématique sur ces lignes de conduite et méthodes, le Conseil espère acquérir une bonne connaissance de l'état de l'enseignement des sciences au Canada et de ses besoins, et être ainsi à même de présenter des recommandations constructives pour son amélioration.

Le Conseil a publié deux de ces exposés: *Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences* par M. James Page, et *L'enseignement des sciences dans une perspective sociale* par M. Glen Aikenhead. Ces deux auteurs ont soutenu, en étayant leur argumentation, qu'il fallait proposer de nouveaux objectifs à l'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes.

Dans son exposé: *L'enseignement des sciences vu par un ingénieur*, M. Donald George parvient à la même conclusion, en partant d'un point de vue différent, celui d'un ingénieur à la fois enseignant et praticien. Il considère les tendances actuelles de cet enseignement avec inquiétude, parce qu'elles privilégient plus les objectifs du scientifique, qui sont la découverte et la confirmation des connaissances, que les problèmes de l'ingénieur, qui s'efforce de les appliquer à la résolution des problèmes pratiques. L'auteur estime que les responsables qualifiés de l'enseignement des sciences doivent mettre au point et à l'essai certaines réformes, et espère que son exposé encouragera le débat au sujet de leur à-propos et de leur faisabilité.

Soulignons que les opinions personnelles ci-après exprimées par l'auteur ne sont pas nécessairement celles du Comité de l'enseignement des sciences, ou du Conseil des sciences. En publiant cet exposé, le Conseil estime que son argumentation est très valable, et qu'il convient de débattre les idées qu'il contient parmi un plus large public, à l'avantage de l'étude elle-même et, plus généralement, de l'enseignement des sciences au Canada.

James M. Gilmour,
Directeur de la recherche,
Conseil des sciences du Canada.

VINGT ANS APRÈS LE LANCEMENT DU SPOUTNIK

L'enseignement des sciences à l'école primaire et secondaire constitue un élément capital de la formation de l'ingénieur à l'exercice de sa profession. L'attitude générale du public à l'égard des sciences, des arts de l'ingénieur et de la technologie découle également de la nature de cet enseignement, et a une influence directe sur l'élaboration des politiques de l'État.

Le présent Exposé porte sur ces deux aspects de l'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes, tels qu'ils apparaissent aux yeux de l'ingénieur, ou tout au moins d'un ingénieur-praticien et professeur.

L'abondance des ressources naturelles du Canada procure un niveau de vie élevé à sa population, qui habite un des pays les plus "développés" du Monde; mais ce ne sont pas les Canadiens qui exploitent ces ressources, car ils laissent ce soin à d'autres, en échange d'une redevance pour cet abandon. De cette manière, ils bénéficient de l'effort scientifique et technique accompli à l'étranger, et consacrent leurs énergies à la poursuite d'autres fins. Les Canadiens paraissent négliger, de façon presque délibérée, l'entretien du potentiel technique du pays[1]*. C'est que la nature même de l'enseignement des sciences aux jeunes joue un rôle dans le cercle vicieux du sous-développement technique.*

Tout comme le duc de Talleyrand-Périgord disait que: "La guerre est affaire trop sérieuse pour qu'on la confie aux militaires", on peut estimer que le progrès des sciences est trop important pour qu'on l'abandonne aux seuls scientifiques. Et pourtant, c'est ce qu'on a fait pour l'enseignement des sciences, qui se trouve désorganisé vingt ans après la mise en orbite du Spoutnik, qui l'avait galvanisé et orienté dans des voies nouvelles.

Les scientifiques ne sont pas entièrement responsables de ces lacunes, car ils ont leur opinion sur la façon d'enseigner les sciences, et ils ont agi en conséquence. Les physiciens, les chimistes, les biologistes et autres spécialistes de domaines parfois étroits n'ont pas nécessairement de perspective synoptique sur le développement général des sciences. Cependant, ce sont ces spécialistes qui ont décidé de la nature de la réforme à accomplir dans l'enseignement des sciences à la fin des années 1950, sans toutefois consulter les ingénieurs.

La réforme de cet enseignement a largement profité aux élèves se destinant à des carrières scientifiques. Ils ont pu approfondir leur discipline préférée, mais ceux qui envisageaient des carrières en d'autres domaines ont souffert de la réforme, car leur formation scientifique de base a été beaucoup plus superficielle que celle de leurs devanciers. L'élitisme grandissant de l'enseignement des sciences a favorisé la progression de l'ignorance générale des questions scientifiques et technologiques parmi le public.

Les premières victimes de cette évolution ont été les sciences elles-mêmes. L'excès de spécialisation de l'enseignement des sciences et la forte baisse du nombre des étudiants dans ces disciplines ont réduit le soutien du public, de moins en moins averti de leurs avantages. Certains théologiens canadiens soutiennent que le "Grand Pan scientiste" est mort, et qu'il faut retourner vers le Dieu biblique[2]. Et, à la grande consternation de nombreux scientifiques, l'appui public donné aux sciences et à la recherche n'est plus motivé que par des espoirs de retombées économiques.

Les sphères scientifiques n'ont guère profité de l'amélioration indéniable de la qualité même de l'enseignement des sciences car, parallèlement, le nombre des élèves des classes de sciences au niveau secondaire diminuait, entraînant une réduction des effectifs d'étudiants qualifiés pour une formation scientifique. Aux États-Unis, la

prise de conscience d'une tendance semblable a débouché sur la présentation d'un rapport spécial au Président[3].

Un autre facteur intervient: les étudiants choisissent de plus en plus des programmes de formation à des professions bien précises. Ils s'inscrivent bien plus nombreux aux cours de génie et de technologie qu'à ceux des sciences pures[4]. Lorsque le nombre des diplômés des écoles secondaires aura passé par un maximum, puis décliné, ce qui se produira bientôt, les effectifs d'étudiants en sciences pures pourraient être bien peu nombreux. On ne peut manquer d'être préoccupé, voire effrayé, par les extrapolations du déclin des inscriptions aux cours de technologie, de génie et de sciences. Même les programmes de spécialisation en génie ou en technologie manqueront d'étudiants en nombre suffisant. Or, la formation de ces effectifs est de grande importance, car l'Amérique du Nord, et particulièrement le Canada, font face à une concurrence croissante de l'étranger sur le plan technologique.

Le nombre insuffisant des inscriptions n'est pas le seul problème affectant l'enseignement des sciences. M. Lester B. Pearson, ancien Premier Ministre du Canada, a évoqué, à l'issue d'un banquet officiel, les difficultés que lui avait causées un cours obligatoire de mathématiques qu'il avait dû suivre alors qu'il était étudiant à la Faculté des sciences humaines de l'Université de Toronto. Selon lui, ce cours imposé paraissait encore plus vain que difficile. La plupart des gens, comme M. Pearson, ne sont pas portés à l'analyse quantitative. Leur mode de pensée est qualitatif, mais certes nullement inférieur, contrairement à ce que croient souvent les adeptes du raisonnement quantitatif. L'enseignement des sciences par un professeur de formation scientifique ne peut être que quantitatif. A moins d'un effort spécial, les étudiants au raisonnement qualitatif se trouvent en fait privés de formation scientifique.

Il se produit ainsi une situation paradoxale. L'enseignement scientifique dispensé par des professeurs sans penchant pour les

sciences, ou ressentant même quelque aversion pour elles, ne saurait être stimulant. Inversement, les étudiants peu attirés par les sciences ne seront guère satisfaits par un enseignement scientifique dispensé par des professeurs ayant, en principe, une formation adéquate et utilisant les méthodes traditionnelles. Il existe certes des cours de sciences ne faisant guère appel aux méthodes quantitatives, mais les milieux scientifiques les qualifient péjorativement de "petite bière". Ces cours et les professeurs qui les dispensent sont tenus en piètre estime. Il n'est guère surprenant que les partisans d'un enseignement scientifique plus "musclé" aient imposé leurs réformes, grâce aux crédits dont ils disposaient et au mandat dont ils se réclamaient.

Après la mise en orbite du Spoutnik, la course à l'exploration de l'espace s'intensifia et l'enseignement des sciences à l'école devint de plus en plus "fondamental", au détriment des aspects appliqués. Ce furent les nouvelles mathématiques qui attirèrent la plus forte attention, car les parents découvrirent qu'ils ne pouvaient plus aider leurs enfants à faire leurs devoirs; mais tous les programmes de sciences connurent une évolution comparable. Les cours donnés délaissaient les applications pour les aspects fondamentaux, et étaient aussi bien plus abstraits.

La nouvelle orientation de l'enseignement des sciences s'accompagna d'une libéralisation des programmes: les étudiants pouvaient choisir la plupart des cours, qui n'étaient plus obligatoires. En Ontario, le mérite (ou la faute) en revient au Rapport Hall-Dennis[5], mais il s'agissait d'un phénomène d'ampleur nationale. La plupart des étudiants rejetèrent les sciences, à cause d'une formation secondaire trop spécialisé sur le plan scientifique, résultant de l'accent donné à l'enseignement des sciences.

La solution simpliste est d'imposer à nouveau des cours de sciences obligatoires: le nombre des inscriptions rebondirait et certains croiraient le problème résolu. Mais, comme le signalait M. Pearson, ce ne serait qu'illusion: le cours obligatoire de mathématiques ne lui

avait laissé qu'un ressentiment durable à l'égard du calcul infinitésimal. En raison des attitudes actuelles des étudiants et des parents, il est probable qu'une certaine coercition serait nécessaire, mais c'est plutôt l'enseignement des sciences qui devrait changer.

L'étudiant en génie possède une autre vision de l'enseignement des sciences, tel qu'il est dispensé de nos jours. C'est à l'école primaire que le futur ingénieur acquiert les premières notions scientifiques. Il développe ses connaissances à l'école secondaire et les approfondit pendant les premières années du 1er cycle universitaire. Il est alors obligé de suivre un programme commun avec les futurs scientifiques fondamentalistes. C'est pourquoi beaucoup d'étudiants en génie abandonnent la partie. Ceux qui persistent n'atteindront leur but que s'ils ont des dispositions certaines pour les sciences, ou une détermination inébranlable à réussir dans des cours de sciences qu'ils n'apprécient guère. Beaucoup s'orientent dans d'autres directions, bien que la profession d'ingénieur ouvre un large domaine d'action à des diplômés de talents très divers, à cause de la gamme nombreuse des postes à remplir.

Certains justifient cette situation en prétendant que les étudiants qui abandonnent leurs études d'ingénieur manquent de l'allant indispensable; mais c'est négliger les pressions nombreuses du système d'enseignement sur les jeunes d'aujourd'hui. L'opinion voulant que seuls les étudiants doués pour les sciences fondamentales devraient devenir des ingénieurs est également erronée, et ne serait admissible que si les cours offerts dans ces disciplines étaient indispensables à la formation en génie. Ce n'est pas le cas, et des cours de sciences appliquées seraient bien plus intéressants et attirants, non seulement pour les futurs ingénieurs, mais aussi pour les autres étudiants.

La nécessité d'une formation scientifique et mathématique approfondie de l'ingénieur varie selon sa spécialisation. Certains ingénieurs-chercheurs sont de purs scientifiques, tandis que d'autres ingénieurs sont des praticiens se fondant exclusivement sur leur expé-

rience et leur discernement. D'un poste à l'autre, la panoplie des qualifications technologiques et scientifiques exigées de l'ingénieur diffère remarquablement. On peut se demander s'il est valable de maintenir un programme d'enseignement commun aux ingénieurs et aux scientifiques, et fortement axé sur la formation de fondamentalistes.

Il est certes impossible de prédire le profil de carrière du futur ingénieur; aussi faut-il lui donner une formation suffisante en sciences et en mathématiques. On peut toutefois se demander si ce fondement est fourni par les programmes d'enseignement des sciences élaborés au cours des vingt dernières années. Les changements qui leur ont été apportés sans considérer leurs répercussions sur la formation des ingénieurs ont-ils permis de satisfaire les besoins du pays? Non, apparemment, car les étudiants s'intéressant au génie, à la technologie et aux sciences sont en nombre insuffisant. Or, le pays a besoin d'effectifs considérables de spécialistes pour maintenir les avantages économiques et sociaux dont bénéficie sa population, sans parler de les accroître. Il est donc regrettable, comme le remarquait Walter Light[6], que le grand public et les dirigeants politiques n'aient pas pris conscience de cette nécessité:

> "Il saute aux yeux que les Canadiens - à l'intérieur comme à l'extérieur du secteur public - ne comprennent pas ou refusent de comprendre que les emplois à venir, le haut niveau de vie, le dynamisme de l'économie et la sécurité future du pays dépendent du succès ou de l'échec de l'effort de l'industrie, et de son aptitude à mettre au point et à exploiter le savoir-faire technique plus rapidement et plus efficacement que celle des autres pays".

Certains évoquent bien entendu l'excédent de diplômés dans un domaine ou l'autre ou, plus généralement, la sur-qualification des candidats à l'emploi. Mais on s'interroge sur le bien-fondé de telles assertions quand on compare le taux de chômage des diplômés d'université, et en particulier des ingénieurs, à celui des autres jeunes de la même tranche d'âges.

De temps en temps, on affirme que les ingénieurs sont souvent affectés à des travaux non spécialisés, suggérant ainsi qu'on en forme un trop grand nombre. En même temps, on se réjouit des nombreux diplômés dans d'autres disciplines dont l'apport à notre bien-être économique ou matériel est bien faible. Si le potentiel de production de certains diplômés paraît mal utilisé par quelques employeurs c'est, ou bien que leurs capacités sont surestimées, ou bien que la direction de l'entreprise concernée est incompétente. Il serait absurde d'employer délibérément des spécialistes à des travaux peu qualifiés et de donner une formation insuffisante aux jeunes Canadiens d'esprit créateur. C'est pourtant ce qu'on préconise parfois, même dans les milieux d'ingénieurs. Quelques-uns d'entre eux espèrent peut-être qu'une raréfaction des diplômes leur permettra d'accroître leurs exigences pécuniaires. Non! Le Canada a besoin de tous les spécialistes et de tous les talents qu'il peut mobiliser pour réaliser ses possibilités.

La diminution du nombre des élèves des cours de sciences résulte peut-être de la latitude de choix qu'on leur laisse; mais l'imposition de cours obligatoires ne résoudrait rien, car bien des étudiants en concevraient de l'antipathie pour les sciences. C'est pourquoi il faut considérer le contenu même du cursus scientifique et, à moins de retourner à l'école, c'est l'étude des manuels qui constitue le meilleur moyen de déterminer le contenu d'un cours. Cette approche a produit des surprises, à cause des changements radicaux intervenus au cours des dernières années. Les manuels actuels de physique, à leur section de mécanique par exemple, illustrent bien cette évolution par leur abondante iconographie et une utilisation élégante des ressources de la typographie et de la couleur. Par comparaison, les manuels de jadis paraissent anémiques et dénués de toute imagination.

Sans aucun doute, les manuels actuels ont meilleure apparence; mais une autre différence saute aux yeux: le traitement abstrait, mathématique du contenu. Nul effort n'est fait pour *expliquer* les diagrammes et les équations de mécanique fondamentale qui y sont inclus.

Les scientifiques, tout comme l'*auteur* du manuel, savent fort bien que la mécanique constitue une branche importante de la physique. Mais l'étudiant le sait-il et, même s'il le savait, pourquoi s'intéresserait-il à un sujet apparemment abstrus?

Par contre, les anciens manuels accordaient une très grande importance à l'orientation et à la motivation des élèves. Ils présentaient tout d'abord les aspects industriels, sociaux et économiques du sujet, et c'est après seulement qu'ils en abordaient les fondements scientifiques; puis, dans une troisième étape, ils en exposaient les applications. Celles-ci étaient d'ailleurs visibles dans la vie quotidienne des élèves. Mais, en 1980, les explications fournies à ceux-ci, si elles existent, renvoient à d'autres concepts scientifiques, à des mesures expérimentales ou à des phénomènes nouveaux à expliquer. Le manuel de physique ne donne que bien rarement des exemples d'application en dehors de cette science.

Les manuels ne sont pas les seuls à illustrer la nature de l'enseignement des sciences dispensé actuellement dans les écoles. Une directive du ministère ontarien de l'Éducation énonce 26 raisons[7] qui peuvent pousser un élève à étudier les sciences. Aucune n'a trait à la technologie, au génie, à l'application des sciences ou aux avantages économiques et sociaux qui en découlent, sauf de manière indirecte ou négative. C'est ce qui dégage des citations suivantes:

> "Les sciences vous obligent à regarder en arrière et à vous demander comment vos ancêtres ont pu vivre sans téléviseur, voiture, radio, téléphone, antibiotiques, calculette, couverture chauffante ou lave-vaisselle automatique. Mais étaient-ils réellement malheureux?"

et

> "Les sciences peuvent influencer nos attitudes et nous encourager à respecter les animaux et les plantes; elles nous incitent à accroître la masse des connaissances, à économiser l'énergie, à nous préoccuper des conditions sanitaires, de la surpopulation, des maladies, des produits psychotropes et des armements".

Celle qui suit est encore plus significative:

> "Les sciences contribuent au développement intellectuel, car elles poussent à poser des questions et à tenter de deviner, à s'étonner et à avancer à tâtons, à essayer d'éclaircir les choses cachées".

Il suffit de tourner quelques pages de la même directive pour découvrir d'autres exemples de mauvaises liaisons entre sciences fondamentales et technologie[8]. Nous y trouvons les quatre orientations du programme: formation scientifique de base; sciences, technologie et prise de décisions; méthode scientifique; et structure des sciences. La technologie et l'application des connaissances scientifiques ne constituent qu'une facette de l'une des quatre orientations possibles, et on peut lire que:

> "L'élève comprend certainement que les sciences diffèrent de la technologie, de même que la recherche de la connaissance se distingue de la résolution pratique des problèmes"[9].

La lecture de ces directives montre bien que c'est la science fondamentale qui est enseignée dans les écoles, en Ontario tout au moins.

Cette préférence ne peut que plaire au scientifique qui s'intéresse aux sciences pour elles-mêmes, et à l'élève qui est attiré naturellement par elles et qui appréhende aisément les principes scientifiques; mais une telle orientation ne convient guère à la plupart des adolescents. Les sciences, pourtant facteurs d'importance vitale, sont présentées comme un sujet abstrait, distant, parfois même ennuyeux et abstrus.

Cette approche serait la bonne si la formation de scientifiques était l'unique objectif de l'enseignement des sciences. Elle n'en suscite pas moins une antipathie pour les sciences parmi les élèves ordinaires, et elle écarte des candidats potentiels à une éducation scientifique. Elle n'est guère attrayante pour les futurs ingénieurs, fortement attirés par les questions pratiques. C'est pourquoi de nombreux élèves s'abstiendront de suivre des cours de sciences, ce qui

les empêchera plus tard de faire des études d'ingénieur ou de technologue.

Les carrières de ces spécialistes peuvent être très satisfaisantes, sûres et financièrement intéressantes; elles conduisent souvent à des postes d'envergure encore plus grande. C'est pourquoi il est paradoxal que les étudiantes ne s'inscrivent guère dans les départements de génie; c'est que les cours de sciences, tels qu'ils sont donnés, ne les attirent que fort peu: les femmes sont, dit-on, plus pragmatiques et d'esprit plus pratique que les hommes. Ce sont là, pourtant, des qualités éminemment valables pour un ingénieur.

Ainsi l'ingénieur et le technologue potentiels sont-ils découragés par la nature actuelle des cours de sciences; mais, de plus, la formation scientifique du grand public s'est amoindrie. Il faudrait que les responsables de la culture générale et ceux qui s'occupent de la formation des ingénieurs se préoccupent de ce problème, comme tous ceux qui souhaitent que le Canada élabore une politique industrielle et technologique favorisant la transformation des matières premières au pays même. Malheureusement, les groupes de population incultes aux plans technologique et scientifique ne peuvent débattre ces questions. Le Rapport Symons[10] de la Commission des études canadiennes conclut, après l'enquête, que la majorité de la population et même les étudiants étaient ignorants sur le plan scientifique, et que cette lacune ne faisait que s'étendre[11].

II TECHNOLOGIE, SCIENCES ET SOCIÉTÉ

Cependant, l'état actuel de l'enseignement des sciences n'évoque que peu de préoccupations parmi les intéressés. Comme les ressources des écoles d'ingénieurs n'ont pas marché de pair avec les inscriptions, les professeurs ont tous trop d'étudiants, et ne sont peut-être pas sensibilisés au faible nombre de diplômés. De toute façon, ils préfèrent parfois les étudiants doués pour les sciences et les mathématiques qui, comme eux-mêmes, deviendront des chercheurs, et ils ne se préoccupent guère de l'accent donné à l'aspect théorique des sciences aux dépens de leur aspect pratique, ce qui écarte bien des étudiants brillants des études d'ingénieur. Les scientifiques, eux, sont soucieux du faible nombre d'inscriptions dans les disciplines scientifiques, mais peut-être n'en veulent-ils pas voir les raisons. Enfin, les non-scientifiques ignorent presque tout des sciences et ne s'en préoccupent nullement. Le cercle vicieux se referme ainsi: l'ignorance actuelle causera une ignorance encore plus grande demain.

Le débat public qui se déroule sporadiquement à ce sujet n'a pas grande signification, car les connaissances scientifiques des participants sont, ou pratiquement nulles, ou considérables, ce qui fait qu'ils ne parlent pas le même langage. Technologie, génie et sciences, voilà les mots qui se retrouvent au coeur de tout débat sur l'enseignement concernant, d'une manière ou de l'autre, la technologie, principal levier de l'Occident en cette fin de XX^{e} siècle. Trop rares sont ceux qui comprennent les répercussions de la technologie, lesquelles se

font pourtant sentir à tous les paliers de notre société. Comme le disait Carl Sagan:

> "Notre société se fonde sur les sciences et la technologie, et elle utilise les connaissances scientifiques dans toutes les facettes de la vie nationale. Pourtant le public, les autorités de l'État et le pouvoir judiciaire n'ont guère de connaissances scientifiques. C'est là l'indice d'une situation désastreuse, qui ne peut être que suicidaire"[1].

Même le sens des mots *technologie, génie* et *sciences* est obscur et, le plus souvent, ils sont employés de manière inappropriée, voire même incorrecte. C'est pourquoi, pour les besoins du présent exposé, nous conviendrons que l'"enseignement des sciences" se réfère à l'enseignement de la physique, de la chimie et de la biologie dans les écoles primaires et secondaires. Ce sont là des matières scientifiques. Mais l'enseignement et l'acquisition des fondements de ces sciences physiques et naturelles ne constituent que l'un des volets de ce que devrait être l'enseignement des sciences. Le mot "sciences" a reçu des définitions étroites et précises, mais on peut également lui donner des acceptions beaucoup plus larges. Tout débat sur l'enseignement des sciences doit se fonder sur une définition très large des sciences, tout comme l'objet de cet enseignement.

Un autre exemple d'obscurité découle de la floraison récente d'articles dans les journaux de la région d'Ottawa-Carleton au sujet du développement du secteur de "haute technologie" et de la pénurie de main-d'oeuvre qualifiée. Les journalistes en ont conclu qu'il existait une pénurie de technologues, et qu'il fallait que l'Administration ontarienne contribue davantage à la formation de ces spécialistes dans les collèges techniques et instituts de technologie. Malheureusement, cette pénurie de technologues ne constitue qu'un des aspects du problème, car l'industrie "de pointe" a évidemment besoin aussi d'ingénieurs, de scientifiques et d'autres spécialistes, dont la formation rencontre également de sérieuses difficultés. Il est donc regrettable

que l'utilisation trop généralisée du mot "technologie" ait empêché de considérer les autres aspects de la pénurie de spécialistes.

Nous avons là un exemple de problème touchant des aspects très différents, mais porté à l'attention du public sous l'angle d'un seul d'entre eux, et cela, à cause de l'utilisation imprécise des mots "technologie, sciences et génie". Les spécialistes de la "technologie" ont des formations très diverses, depuis l'ingénieur-docteur et le technologue jusqu'au technicien et à l'ouvrier d'usine. Tous ont besoin d'une formation scientifique de base, et toute faiblesse sur ce plan aurait des répercussions considérables.

Le titre d'un conseil subventionnaire fédéral, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, nous offre un autre exemple des errements terminologiques causés par les doyens des facultés de génie désireux d'associer le mot "science" au mot "génie". Dans leurs efforts (couronnés de succès) pour inclure le mot "génie" dans le titre du Conseil, les doyens avançaient sur deux fronts: l'élargissement de l'interprétation générale du rôle d'un "conseil de la recherche scientifique" d'une part et, d'autre part, le financement effectif des sciences et de la technologie plutôt que des seules sciences.

Il semble donc approprié de passer en revue quelques définitions anglaises des mots "technologie", "génie" et "sciences". *Le Webster* nous offre une définition traditionnelle du mot *"science"*:*

> *"2. Any branch or department of systematized knowledge considered as a distinct field of investigation or object of study; as biology is a science; the science of astronomy or of mind".*

---

*Note au lecteur:
Une partie de l'argumentation de l'auteur repose sur la définition précise du mot "science" en anglais. Par souci d'exactitude, nous avons traduit in extenso la partie du document exposant cette argumentation, même si elle ne s'applique pas intégralement au sens français du mot "science". Nous renvoyons le lecteur qui souhaite approfondir la question aux divers dictionnaires de la langue française actuellement en usage.

(Toute branche ou domaine de connaissances organisé de façon systématique et considéré comme un champ distinct de recherches ou un objet d'étude: ainsi, la biologie est une science, tout comme l'astronomie ou la psychologie).

"3. A branch of learning; a science; especially a science such as grammar, logic or mathematics..."[2].
(Une branche de la connaissance, une science et notamment un discours axiomatique comme la grammaire, la logique, les mathématiques...)

Cette définition se trouve précisée comme suit:

"A branch of study which is concerned with observation and classification of facts, especially with the establishment (and, strictly, the quantitative formulation) of verifiable general laws, chiefly by induction and hypothesis; as, the biological, historical, and mathematical sciences"[3].
(Un domaine d'étude qui s'occupe de l'observation et du classement des phénomènes, notamment de l'établissement (et, au sens strict, de la formulation quantitative) de lois générales vérifiables, principalement par l'induction et grâce à des hypothèses; exemples: les sciences biologiques, l'histoire, les sciences mathématiques.)

L'*Oxford dictionary* présente cette acception de manière plus développée:

"5b. In modern usage, often treated as synonymous with "Natural and Physical Science", and thus restricted to those branches of study that relate to the phenomena of the material universe and their laws, sometimes with implied exclusion of pure mathematics"[4].
(5b. Selon l'usage moderne, souvent considéré comme synonyme de "sciences de la Nature et du monde inanimé", et concernant donc ces disciplines qui envisagent les phénomènes de l'univers sensible et les lois qui les régissent, à l'exclusion parfois des mathématiques pures.)

Il est frappant de constater que le mot *"science"* se trouve ainsi qualifier les seules sciences du monde inanimé et du monde vivant. C'est cette dernière définition étroite qui semble malheureusement prévaloir au Canada anglophone, et l'enseignement des sciences à l'école primaire et à l'école secondaire a renforcé cette conception restrictive de la portée et de la nature des sciences.

La *New Columbia Encyclopedia* propose une définition plus large:

> *"For many the term science refers to the organized body of knowledge concerning the physical world, both animate and inanimate, but a proper definition would have to include the attitudes and methods through which this body of knowledge is formed; thus, science is both a particular kind of activity and also the result of that activity... Science may be roughly divided into the natural sciences and the social sciences... The natural sciences are divided into the physical sciences, the earth sciences and the life sciences. Mathematics is also considered one of the physical sciences... All of these areas of study might be called pure sciences, in contrast with the applied or engineering sciences, i.e. technology, which is concerned with the practical application of scientific activity"*[5].
> (Pour bien des gens, le mot "science" désigne un ensemble systématique de connaissances portant sur le monde sensible, vivant ou inanimé; mais une définition appropriée devrait englober les attitudes et les méthodes qui conditionnent la formation de cet ensemble de connaissances; par conséquent, la science est à la fois un type particulier d'activité et le résultat de cette activité... On peut distinguer, de manière très simple, les sciences de la Nature et les sciences humaines... Les premières se subdivisent en sciences du monde inanimé, en sciences de la Terre et en sciences des êtres vivants. On considère que les mathématiques se classent parmi les premières... Toutes ces disciplines peuvent être qualifiées de "sciences fondamentales", par opposition aux arts de l'ingénieur et aux sciences appliquées, c'est-à-dire la technologie, qui a pour objet les applications pratiques de l'activité scientifique.)

Que faut-il retenir, le sens limitatif de "sciences du monde inanimé" ou cette dernière acception, bien plus large? L'ancien Premier Ministre J. Diefenbaker a salué comme une grande réalisation scientifique le lancement du premier satellite canadien, lequel constituait en fait l'oeuvre d'ingénieurs. Que voulait-il dire et comment ses propos furent-ils interprétés?

La dernière définition met en relief les deux autres mots-clés: *"engineering"* et *"technology"*; mais ces termes ne soulèvent que peu de difficultés. Le *Webster* définit *"technology"* comme suit:

> *"1. Industrial science, the science or systematic knowledge of the industrial arts, especially of the more important manufactures as spinning, weaving, metallurgy, etc."*

(Savoir industriel, science ou connaissance systématique des arts industriels, spécialement dans les fabrications les plus importantes comme la filature, le tissage, la métallurgie, etc.)

"3. Any practical art utilizing scientific knowledge, as horticulture or medicine; applied science contrasted with pure science".
(Tout art pratique utilisant des connaissances scientifiques, comme l'horticulture ou la médecine; science appliquée par opposition aux sciences fondamentales.)

L'*"engineering"* est défini comme:

"...the art and science by which the properties of matter and the sources of power in nature are made useful to man in structures, machines and manufactured products; the occupation and work of a professional engineer..."[6].
(L'art et la science permettant de mettre la matière et les sources d'énergie de la Nature au service de l'Homme sous forme d'ouvrages, de machines et de produits ouvrés; l'occupation et le travail d'un ingénieur agréé...)

Cette définition montre clairement que la compétence professionnelle d'un ingénieur se fonde très largement sur sa connaissance de sciences très diverses (fondamentales et appliquées), ainsi que sur sa maîtrise des arts de l'ingénieur[7].

Cependant, le génie n'est pas ce que l'on croit si souvent, soit l'application des sciences du monde inanimé à des fins pratiques. Pour s'en rendre compte, il suffit de distinguer entre les sciences consistant en observation, mesure et description des phénomènes naturels et les sciences qui ont pour objet l'étude des phénomènes découlant de l'action de l'Homme. Par exemple, la théorie de la communication et de l'information a été élaborée au cours du XX^{e} siècle en vue de décrire les lois qui régissent la transmission et la réception des signaux. De même, les progrès de l'électrotechnique et de la mécanique ont débouché sur de nouvelles connaissances concernant la nature des circuits, des ensembles et des machines qui sont indispensables à l'ingénieur. Ces "sciences de l'artificiel" ou sciences de l'ingénieur constituent un aspect relativement nouveau de la connaissance scientifique, et même leur existence est inconnue de la plupart des citoyens dont la forma-

tion scientifique s'est limitée à la physique, aux mathématiques, à la chimie et à la biologie.

Et cependant l'on enseigne la physique, la chimie et la biologie aux élèves comme des sciences abstraites et autonomes; celles-ci, dans leur esprit, finissent alors par représenter toute la science, et cette impression est, plus tard, corroborée par les spécialistes enseignant ces disciplines dans des départements universitaires clairement séparés. A ce moment-là, comme un grand nombre d'étudiants cessent leurs études scientifiques, ils gardent dans l'esprit leur première impression, et le génie reste pour eux une activité obscure, tout comme le travail de l'ingénieur. Au mieux, les gens pensent que les ingénieurs appliquent les sciences (c'est-à-dire la physique, la chimie et la biologie) et les mathématiques à des fins pratiques. Il en résulte que la technologie apparaît à beaucoup comme une application des sciences, peut-être périlleuse. On laisse aux hasards de l'existence le soin d'apprendre comment les leviers et les poulies, la force et l'énergie s'insèrent dans la vie quotidienne.

Ainsi l'élève typique arrive-t-il au terme de ses études secondaires avec une conception fausse des sciences, et il ignore pratiquement tout du génie et de la technologie. Et il est censé être préparé pour le XXI^{e} siècle, alors que cette formation ne conviendrait même pas au XX^{e}!

Les phases suivantes de l'enseignement ne sont guère plus satisfaisantes. Le collège technique ou l'institut de technologie n'a d'autre choix que de considérer comme acquise et complète la formation de base de celui qui s'y inscrit, et de lui donner une formation spécialisée en vue d'une profession déterminée. L'université fait de même. Les étudiants se cantonnent dans la discipline qu'ils ont choisie, ne s'aventurant qu'avec une prudence extrême dans les domaines adjacents, mais très rarement ou jamais dans les sphères distantes d'une autre faculté. Les étudiants inscrits en sciences humaines n'étudient pas les sciences de la Nature, et vice versa. Les programmes d'études au

choix laissent les étudiants développer leurs préjugés contre les cours de sciences naturelles (ou contre les cours de sciences humaines, s'ils étudient les sciences de la Nature) et les règlements régissant les départements favorisent un tel processus.

On arrive alors au stade de l'ignorance sélective organisée, qui marque le comportement tout au long d'une existence; mais, paradoxalement, on considère que cette formation est une formation de base, fondamentale, générale, et qu'elle mérite la priorité. Même les plans actuels de rationalisation des programmes universitaires de l'Ontario excluent de leur cadre d'action les sciences naturelles enseignées au 1er cycle, les sciences humaines et les sciences sociales[8]. On estime peut-être que le public fournira les fonds nécessaires pour ces programmes (qui absorbent la plus grande part du budget universitaire); les étudiants diplômés dont les activités ultérieures devront contribuer au développement de l'économie seront soumis aux limitations et aux contraintes de la planification habituelle du secteur universitaire ontarien, au nom de l'économie des ressources et du plafonnement de la ponction fiscale. Les raisons pédagogiques ou économiques d'une telle situation ne sont pas évidentes.

On note que les facultés de génie du Canada obligent leurs étudiants à suivre des cours de sciences générales, de mathématiques, d'économique, d'administration, de sciences humaines et de sciences sociales. Elles visent un objectif tout pragmatique, car l'ingénieur doit s'adapter au milieu social, économique et écologique au sein duquel il exerce sa profession. Cette attitude contraste avec celles des facultés des sciences humaines, qui laissent trop souvent leurs diplômés entrer dans un monde marqué par la technologie, que ce soit pour le bien ou pour le mal, sans connaissance des fondements du génie, des sciences et de la technologie.

En l'absence de technologie nouvelle, il nous faudrait retourner à l'économie agricole du siècle dernier, que certains préfèrent sans doute, mais que peu ont choisie et que la plupart refusent. Si bien

des problèmes qui nous assaillent, tels la pénurie d'énergie qui mine l'unité du Canada, ou le déclin de l'économie et de l'industrie du pays, ou la pollution, proviennent des progrès techniques, leur résolution repose sur encore d'autres progrès techniques. On remarque que le débat sur la politique et la stratégie de la filière électronucléaire prend un tour exalté, car il s'inspire de notions dénuées de fondement en matière de science et d'ingénierie nucléaires. C'est qu'il est bien difficile de suivre une voie médiane entre les détracteurs acharnés de tout développement en ce domaine et les partisans inconditionnels du tout-nucléaire, nonobstant les conséquences éventuelles d'un tel choix.

Il nous faut prendre des décisions cruciales, consentir des efforts actuellement pour préparer l'avenir, et sensibiliser et renseigner les autres Canadiens, afin de découvrir ensemble les solutions aux problèmes qui nous assaillent. Il est intolérable que notre système d'enseignement laisse tant de ses diplômés dans une ignorance crasse des questions scientifiques et techniques. L'accumulation même des problèmes techniques dans notre société montre bien l'ignorance générale des interactions entre technologie et mode de vie préféré, et la nécessité de faire disparaître l'ignorance des sciences.

Il reste un point à mettre en relief à propos de la formation de base à donner aux jeunes pour les sensibiliser aux questions scientifiques et techniques, même s'ils n'entreprennent pas de carrière en ces domaines. Les déclarations faites à la Commission Symons, selon lesquelles:

> "... il n'est pas valable de parler de science canadienne et de génie canadien; les sciences et la technologie transcendent les frontières et ne peuvent donc avoir de caractère national"[9],

ne correspondent pas à la réalité. La Commission a même mis en évidence "la dimension nationale ou culturelle" de l'incidence des sciences et de la technologie sur notre société, et son absence apparente d'héritage scientifique[10]. Elle a également dressé une liste impressionnante et déprimante des problèmes particuliers au Canada, et

qui ont été presque entièrement laissés de côté par la science canadienne[11].

Malgré tout, en proclamant que "les sciences sont internationales", la Commission acceptait implicitement une définition restrictive des sciences négligeant la nature de la technologie. Si les lois fondamentales des sciences sont universelles, l'application des connaissances scientifiques et techniques est fortement nationaliste. Il est fâcheux que l'enseignement des sciences et les établissements d'enseignement supérieur n'aient pas tenu compte de cette opposition. On est obnubilé par l'universalité des sciences et le rôle mineur, voire négligeable du Canada sur ce plan. Et pourtant, les progrès des sciences et de la technologie au Canada sont d'une importance capitale pour sa pérennité. Les citoyens à qui l'on a inculqué une conception monolithique et simpliste de la science fondamentale ne peuvent que malaisément prendre conscience de ce fait.

III QUELQUES OPTIONS EN MATIÈRE D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

L'expression "absence de formation scientifique de base" que nous avons utilisée doit être prise dans un sens général, et donc englober la technologie. Il serait peut-être préférable de dire "absence de formation *technologique* de base", car c'est par le biais du savoir-faire technique que l'incidence des sciences fondamentales se manifeste. Selon leur définition appropriée, les sciences englobent la technologie. Comme les méthodes scientifiques et l'épistémologie constituent des moyens capitaux pour appréhender les incidences de la technologie sur la société et l'environnement, nous avons mis l'accent sur les sciences, mais non telles qu'on les conçoit dans les écoles. La physique, la chimie, la biologie et, peut-être, les mathématiques ne sont pas les seules à constituer l'univers des sciences.

M. John G. Truxal, éminent professeur de génie des É.-U., a posé deux questions afin d'illustrer les deux objectifs que devrait viser toute nouvelle approche de l'enseignement scolaire des sciences:

> "Question n^{o} 1: Pour réduire la consommation d'essence, combien de temps faut-il laisser le moteur d'auto tourner au ralenti avant de prendre la route par une glaciale matinée d'hiver?
>
> Question n^{o} 2: Pour économiser le carburant, l'Administration fédérale a le choix entre deux options:
> 1° Améliorer le fonctionnement des réseaux de métropolitain et d'autobus afin d'attirer un plus grand nombre d'usagers.
> 2° Mettre en oeuvre des programmes d'incitation financière pour convaincre les navetteurs (*commuters*) de se procurer des autos moins énergievores.

> L'Administration applique actuellement la première option, et essaie de doubler le nombre des usagers en investissant largement les deniers publics dans les transports en commun. Pour économiser la même quantité de carburant, de combien faudrait-il accroître la distance parcourue par litre d'essence utilisé par les navetteurs[1]"?

La première question évoque une réponse raisonnable et pratique: 30 secondes; la réponse à la deuxième question est d'une modicité surprenante: 71 mètres par litre de carburant. Les deux objectifs de M. Truxal, bien illustrés ci-dessus, sont d'aider les élèves à savoir comment se comporter dans leur environnement technique et participer aux décisions politiques. Une formation scientifique de base incitant les élèves à se poser de telles questions modifierait en profondeur l'approche actuelle et mettrait l'accent sur le côté pratique des sciences et de la technologie. Elle ferait descendre les sciences des hauteurs abstraites où on les a placées et introduirait le savoir-faire technique dans les écoles.

On pourrait commencer par mettre l'accent sur l'importance des sciences dans un cadre social et pragmatique et, par exemple, montrer l'importance pratique des connaissances en mécanique en expliquant le fonctionnement d'une voiture et le déroulement d'une collision. Quand l'examen des applications aurait permis de remonter à une théorie valable, on attirerait l'attention des élèves sur les incidences plus larges des sciences et de la technologie.

Le Conseil des écoles catholiques de Grey-Bruce (Ont.) a mis en oeuvre un programme de formation particulièrement intéressant sur ce plan, car "les mesures, si importantes pour les mathématiques, sont expliquées, avec grand succès, *par le biais* de l'énergie"[2]. (C'est nous qui soulignons.)

Une autre solution consisterait à donner des cours de technologie, probablement en plus des matières scientifiques normalement enseignées. Contrairement aux idées courantes, la technologie ne découle pas nécessairement des sciences; souvent elle les précède. Bien que les progrès

des sciences fondamentales débouchent inévitablement sur des applications, ils n'expliquent pas toutes les innovations techniques. L'expérimentation constitue un élément crucial des progrès technologiques (et scientifiques aussi), et elle n'exige pas impérativement la connaissance précise des phénomènes physiques qui interviennent. Ainsi la technologie précède-t-elle souvent les sciences et les technologues n'ont pas besoin, dans leur profession, d'une connaissance scientifique approfondie de leur spécialité.

Il serait cependant hasardeux d'asseoir une formation générale sur un tel fondement, car le citoyen pourrait avoir des connaissances superficielles tout en restant foncièrement ignorant. De plus, on ne pourrait se rendre compte de l'insuffisance des connaissances scientifiques et techniques accumulées pour répondre à toutes les questions que pose la mise en oeuvre de la technologie.

Une formation technologique à l'école secondaire serait insuffisante pour le futur ingénieur. Celui-ci se distingue du technologue sur bien des plans, et le solide fondement scientifique des arts et des sciences de l'ingénieur n'est pas la différence la moins remarquable.

C'est en raison du déséquilibre qui les caractérise que nous écartons aussi bien l'approche actuelle que les réformes du genre de celles que nous venons d'évoquer. MM. G.W.F. Orpwood et D.A. Roberts[3] ont circonscrit six objectifs éventuels de l'enseignement des sciences:

- application des sciences;
- évaluation de leurs incidences sur la société;
- évaluation de l'extension à la technologie;
- appréhension des problèmes scientifiques particuliers au Canada;
- contributions du pays aux progrès des sciences;
- et prise de conscience du rôle des sciences dans les choix personnels ou politiques.

Ces auteurs s'occupaient ainsi du contexte de l'enseignement des sciences et non de son contenu, et nous en déduisons qu'il faut instaurer un meilleur équilibre entre les deux.

Celui-ci est indispensable, non seulement sur le plan du temps consacré aux divers sujets, mais également sur celui de la méthode pédagogique utilisée. Il faut que le programme mette l'accent tant sur le contenu que sur le contexte des grand thèmes scientifiques et technologiques, plutôt que sur les cours de physique, de chimie ou de biologie fondamentale. Cette importance accordée aux applications et aux avantages pratiques des sciences les rendra plus attrayantes auprès de tous les étudiants, et non seulement auprès des futurs ingénieurs, technologues et scientifiques. Tous seront familiarisés avec l'ingénierie et la technologie, aussi bien qu'avec les sciences fondamentales et les nouvelles disciplines comme l'informatique.

Cette dernière donne un excellent exemple de la conjugaison des mathématiques, de l'électronique appliquée et d'une prise de conscience aiguë des incidences et de l'importance d'une technologie toute actuelle. Tous les élèves du secondaire devraient acquérir des capacités élémentaires en matière de programmation et comprendre le fonctionnement de l'ordinateur. De nombreuses idées erronées disparaîtraient ainsi.

Il faut se garder de croire que ces changements au programme d'enseignement secondaire seront aisément mis en oeuvre, car ils exigeront du temps, de l'énergie et du talent, tant du côté des enseignants que de celui des élèves. Mais il est indispensable d'entreprendre cette tâche pour que les Canadiens se trouvent à l'aise dans la civilisation ultra-technique du XXI^{e} siècle.

Les cours et les manuels devront mettre en lumière l'apport canadien aux technologies étudiées, ainsi que les réussites et les échecs de nos ingénieurs. On ne dira jamais assez que les applications des sciences et de la technologie s'inscrivent dans un cadre régional et national, en dépit de l'universalité des lois qui gouvernent la Nature.

IV RÉCAPITULATION

Notre perspective sur l'état de l'enseignement des sciences dans les écoles du Canada est celle d'un ingénieur praticien et professeur, et nous avons surtout envisagé les effets de cet enseignement des sciences aux niveaux primaire et secondaire sur des élèves qui, au lieu de poursuivre des études post-secondaires en sciences physiques, biologiques ou mathématiques, deviendront plutôt des ingénieurs, des technologues et des techniciens. Ceux qui s'orientent vers ces carrières s'intéressent naturellement aux applications pratiques des sciences; cependant la dernière réforme de l'enseignement des sciences, peu après 1960, mettait l'accent sur les sciences fondamentales. Cette approche est invalide tant pour ces étudiants que pour la plupart de ceux qui ne désirent pas acquérir de spécialisation scientifique ou technologique. C'est pourquoi nous avons étendu notre étude à l'état des connaissances scientifiques du grand public.

Si nous voulons collectivement que la population du Canada garde son dynamisme et que l'économie du pays soit prospère au XXI^{e} siècle, il faut que le grand public reçoive une formation de base en ces domaines. Or, la pédagogie actuelle des sciences empêche celle-ci. L'indifférence et l'ignorance générales au sujet de la nature de la technologie et de ses répercussions sociales empêchent tout débat public éclairé. Même les mots "technologie", "génie" et "sciences" revêtent des significations différentes selon les divers intéressés, et dans des contextes dissemblables.

Une comparaison des manuels scolaires d'hier et d'aujourd'hui montre l'accent donné aux sciences fondamentales aux dépens de la technologie. Aux alentours de 1960, un raz de marée de mathématiques modernes et de "nouvelles sciences" a balayé les écoles, favorisant l'enseignement des sciences fondamentales. Les élèves ayant un intérêt et un talent innés pour les sciences en ont profité mais, malheureusement, la plupart de ceux qui n'avaient pas ces aptitudes ont eu à surmonter des difficultés. Au cours de la même période, les autorités scolaires abandonnèrent le programme imposé, qui n'offrait que quelques cours facultatifs; c'est pourquoi les inscriptions aux cours de sciences subirent une diminution numérique rapide après 1970.

Il est surprenant que le grand public et les sphères scientifiques aient ensemble pâti de cette évolution. Les jeunes adultes sont certainement moins au fait des questions scientifiques et techniques que leurs aînés car, en très grand nombre, ils ont choisi d'éviter les cours de sciences. Le maintien d'un certain intérêt du public pour les sciences est probablement dû aux films de science-fiction. D'un autre côté, le nombre des étudiants s'inscrivant dans les départements de sciences a fortement diminué à cause du déclin de l'enseignement des sciences au secondaire et du plus grand nombre d'étudiants s'orientant vers les programmes de génie et de technologie.

Ce traitement préférentiel accordé aux sciences fondamentales a ainsi entraîné une réduction des effectifs de jeunes scientifiques et un affaiblissement de l'intérêt et de l'appui du public. En même temps, de nombreux étudiants moins doués pour les sciences, mais ayant quand même des qualités valables en ce domaine, sont écartés d'une carrière dans l'éventail très divers des professions scientifiques et techniques. Il ne suffirait pas d'accroître simplement les crédits accordés aux universités et aux collèges techniques pour qu'ils mettent sur pied des programmes de formation adéquats. Il faut agir aux étapes antérieures de l'enseignement primaire et secondaire.

Nous préconisons une réforme des programmes pédagogiques faisant une plus large part à l'enseignement des sciences appliquées, de la technologie et de ses incidences sur la société. Il faut montrer aux élèves l'importance vitale des sciences et de la technologie pour le Canada et leur dimension typiquement canadienne.

Il ne sera pas facile de mener à bien une telle tâche dont nous n'avons esquissé que l'orientation générale, sans entrer dans les détails. Il est évident qu'il s'agit là d'un problème national, d'importance capitale et à long terme. Sa résolution exige que les responsables de l'enseignement et les praticiens des domaines de la technologie, du génie et des sciences surmontent leurs dissensions, et se concertent pour circonscrire des objectifs communs sans tarder.

S'ils échouent dans cette entreprise, ils perpétueront une ignorance qui pousse le public à gaspiller un patrimoine encore valable, pour le moment du moins.

Bibliographie

I Vingt ans après le lancement du Spoutnik

1. Ce point a été mis bien en relief par Walter F. Light, président-directeur général de Northern Telecom, dans "Technology - Low Man on the National Totem Pole" lors de la Conférence du Financial Post sur le thème R & D, High Technology: Now or Never, Ottawa, 9 octobre 1980.

2. *Ottawa Citizen*, 11 octobre 1980, p. 49.

3. Rapport rédigé par la Fondation nationale des sciences et le Secrétariat chargé de l'Éducation, États-Unis.

4. Ainsi, à l'Université Carleton, le rapport étudiants du 1er cycle en sciences/en génie est passé de 2,43 en 1960 à 1,69 en 1970 et 0,69 en 1980.

5. Living and Learning, Rapport du Comité provincial des orientations et objectifs de l'enseignement dans les écoles ontariennes, ministère de l'Éducation de l'Ontario, Toronto, 1968.

6. W.F. Light, *op. cit.*, p. 2.

7. Ministère de l'Éducation de l'Ontario, Curriculum Guideline for the Intermediate Division, Science, Toronto, 1978, pp. 46-48.

8. *Ibid.*, pp. 56-62.

9. *Ibid.*,p.61.

10. The Symons' Report, McClelland and Stewart, Toronto, 1978, ou Se connaître, Le Rapport de la Commission sur les Études canadiennes, vol. I et II, Association des universités et collèges du Canada, Ottawa, 1975.

11. James E. Page, Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences, Conseil des sciences du Canada, Ottawa, octobre 1979, pp. 19-20.

II Technologie, sciences et société

1. Frederick Golden, "Carl Sagan, The Cosmic Explainer", *Time*, 20 octobre 1970, p. 61.

2. Webster's New International Dictionary, 2e édition.

3. *Ibid.*

4. A New English Dictionary on Historical Principles, The Clarendon Press, Oxford, 1914.

5. The New Columbia Encyclopedia, Columbia University Press, New York, 1975.

6. Webster's New International Dictionary, 2e édition.

7. Dans ce contexte, on désigne évidemment par "art" la compétence, la dextérité ou la capacité pour accomplir certaines actions, toutes qualités acquises par l'expérience, l'étude et l'observation..."; il n'en résulte nullement que les ingénieurs ne devraient pas être versés dans les disciplines axiomatiques de la grammaire, de la logique et des mathématiques.

8. Ontario Council on University Affairs, System Rationalization, Toronto, septembre 1980, pp. 20-22.

9. J.E. Page, *op. cit.*, p. 13.

10. *Ibid.*, p. 13.

11. *Ibid.*, p. 16.

III Quelques options en matière d'enseignement des sciences

1. John G. Truxal, "Pre-College Classroom Materials", dans *Engineering Education* , janvier 1980, p. 343.

2. Education Ontario, Ministère de l'Éducation et ministère des Collèges et Universités de l'Ontario, printemps 1980, p. 3.

3. Graham W.F. Orpwood et Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education", dans *Orbit* , vol. 11, n° 1, février 1980, pp. 21-25.